

50KC以下の搬送周波数における電気・機械濾波器*

日下部 千 春 ・ 近 野 正

工学部電気工学科

1 緒 言

電気・機械濾波器は、最近の通信網の多重化、混信妨害対策などに対する最も有効な方法の一つとして注目され、現在では中心周波数 50~500KC 範囲のものが実用化されているが、最近ではさらに要求が広くなりそれ以下あるいはそれ以上の周波数範囲の電気・機械濾波器が要望されている。

本研究は比較的低い周波数帯 (50KC 以下) での電気・機械濾波器の一構成例として振り振動結合子・横振動共振子形の電気・機械濾波器について述べるものである。この種の機械濾波器の構成原理については、すでに筆者の一人が提案発表 (昭31-9) したが⁽¹⁾、最近 (昭35-6)、Bell 研究所の Mason らが⁽²⁾ 解法は異なるが同構成原理の下に横振動共振子の第2次高次振動を利用した電歪形トランスデューサ利用の機械濾波器を発表した。筆者らもこれと並行してこれらの実用性について二三の実験を行って来たのでつぎに報告し参考に供する。

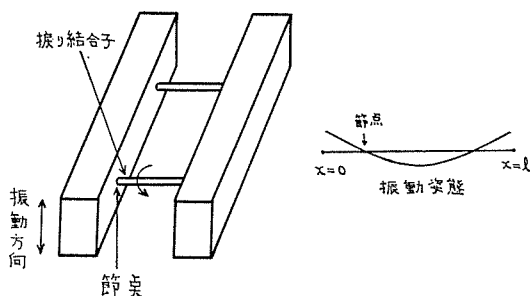
要するに、本構成は種々の開発研究の成果の一つとも云うべきものでその実用化の可能性が明らかとなった。

すなわち、5 KC 以下の中心周波数では電磁形の変換方式が利用でき、10~50KC 程度では高次振動抑圧形の電歪磁器接着形 (チタバリ形) の共振子利用が有効で、{スプリアスも少く構造も単純である。

なお、本文では共振子2個のもっとも簡単な場合の結果だけを示めているが、今後さらに共振子を増しスカート特性を良くした場合ならびに磁気回路、電歪材料 [$(P_0Zr-Ti)O_3$ 使用など]、支持法、整合用機械抵抗の実際などについても順次研究を進める計画である。

2 振り結合子形機械濾波器の構成原理

この種の機械濾波器は横振動共振子の振動エネルギーを結合子の振りインピーダンスを介して伝達しようとするもので、結合子の接着点は共振子の節点に一致しているが、結合子はある面積をもつため共振子が横振動をすると結合子は振り力を受け振り振動を行ってつぎの共振子へ振動エネルギーを伝達する。



第1図 基本振動利用

して伝達しようとするもので、結合子の接着点は共振子の節点に一致しているが、結合子はある面積をもつため共振子が横振動をすると結合子は振り力を受け振り振動を行ってつぎの共振子へ振動エネルギーを伝達する。

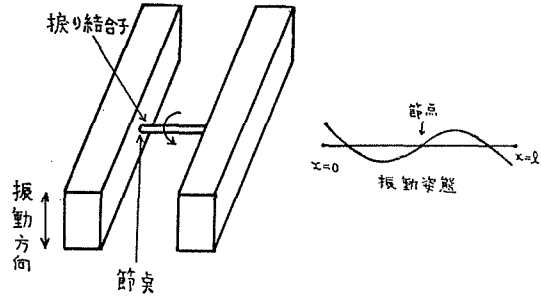
第1図はかつて筆者が提案した基

* 本研究の一部は電気通信学会講演会その他で発表した(6)~(7)。

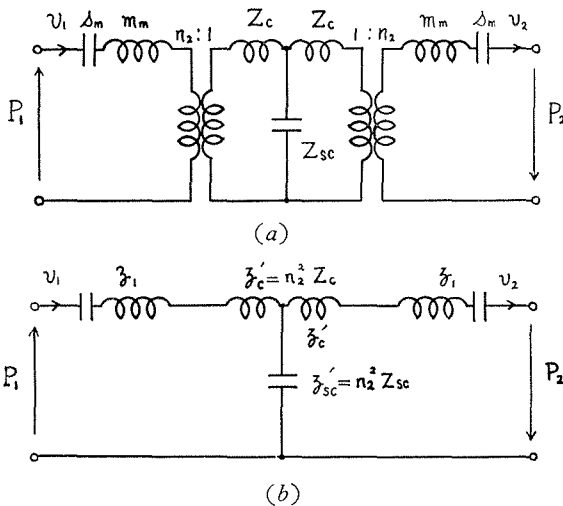
本振動共振子の一構成例で、第2図は同原理の下に第2次振動の共振子を利用した場合である。

3 設 計

機械濾波器の設計の一般理論についてはすでに発表した⁽¹⁾。構成法が異なると設計式も当然多少変わるが、基本的な諸関係式は変わらないので、つぎに設計の概要を約記す



第2図 第2次振動利用



第3図 振り結合子形機械濾波器の等価回路

(1) 結合子の等価定数

第3図 a, b の等価素子 Z_c , Z_{sc} はそれぞれ

$$\begin{cases} Z_c = Z_{oc} \tanh \frac{1}{2} \gamma_c l_c, & z'_c = n_2^2 Z_c, \\ Z_{sc} = Z_{oc} \operatorname{cosech} \gamma_c l_c, & z'_{sc} = n_2^2 Z_{sc}, \end{cases} \quad (1)$$

のように与えられる。

ここに Z_{oc} , γ_c , n_2 は結合子の直径を d_c , 長さを l_c , 密度を ρ_c , 剛性率を G とし、共振子の規準函数（座標 X のみの函数でこれによって規準振動の姿態が決定される）を $\Xi_m(x)$, $X = x/l$, 長さを l とすると (C, G, S 単位),

$$\begin{cases} Z_{oc} = J_c \sqrt{\rho_c G}, & J_c = \frac{\pi}{32} d_c^4, \\ \gamma_c = j\omega \sqrt{\frac{\rho_c}{G}}, & n_2 = \frac{1}{l} \frac{\Xi'_m(x_c)}{\Xi_m(x_1)}, \\ \Xi'_m(x) = \frac{\partial \Xi_m(x)}{\partial X}, & \end{cases} \quad (2)$$

のように与えられる。ただし、 x は共振子の長軸方向の長さで共振子の左端を x の原点とする。 X_1 は駆動点位置あるいは自由端、 X_c は結合子の接着位置である。なお、静的スチフネス s_{sc} は $s_{sc} = (\pi/32) G (d_c^4/l_c)$ となる。

(2) 共振子の等価定数

共振子の等価諸定数 m_m , s_m はそれぞれ (サフィックス m は共振子の振動次数),

$$\begin{cases} m_m = \frac{M_r}{\Xi_m(x_1)}, & M_r = \rho l S, \quad S = bd \left(= \frac{\pi}{4} D^2 \right), \\ s_m = \omega_m^2 m_m, & \omega_m = \frac{\alpha_m^2}{l^2} R \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \end{cases} \quad (3)$$

のように与えられる。ここに、 α_m は共振子の規準定数で、 ρ , E はそれぞれ共振子の密度、ヤング率、 R は共振子断面の中性面に関する回転半径である。なお、共振子が矩形断面の場合は厚さを d , 巾を b とし、円形断面の場合はその直径を D とおく (C, G, S 単位)。

(3) 設 計 法

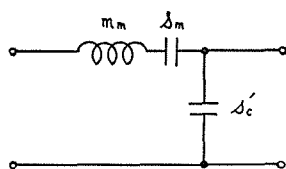
共振周波数 f_m と共振子寸法 (l, b, d) を適当に選定し、採用する振動次数も決定すると (3) 式から、 ω_m , M_r , $\Xi_m(x_1)$ を既知として、共振子の等価質量 m_m と等価スチフネス s_m とが求められる。

一方、結合子の方は (1) 式から詳しく算出できるが、簡単のため静的スチフネス s_{sc} を採用しこれを共振子の X_1 点 (たとえば自由端) に換算すると、

$$s'_{sc} = n_2^2 s_{sc} = s_{sc} \frac{1}{l^2} \frac{\Xi_m'^2(x_c)}{\Xi_m^2(x_1)}, \quad 2 s'_{sc} \equiv s'_c \quad (4)$$

が得られるから、第4図の等価半区間回路より、比帯域 B は f_o を中心周波数として、

$$B \equiv \frac{\Delta f}{f_o} \approx \frac{1}{2} \frac{s'_c}{s_m} = \frac{s_{sc}}{s_m} \frac{1}{l^2} \frac{\Xi_m'^2(x_c)}{\Xi_m^2(x_1)}, \quad (5)$$



のように求められる。

第4図 等価半区間回路

ただし、第2図のように結合子が1本の場合は別に問題はないが、第1図のように対称に2本の結合子が配置されている場合は当然1本のスチフネス値を2倍したものを (5) 式の s_{sc} の値として使用する必要がある。

(4) 設計資料 (仕様)

(a) f_m (共振周波数) ; 両端自由棒 (共振子) の規準定数 α_m は第1表のように与えられており、回転半径 R は各種断面に対して第2表のように与えられているから、 $\rho = 7.8 \text{ (g/cm}^3\text{)}$, $E = 2.1 \times 10^{12} \text{ (dyne/cm}^2\text{)}$ とすると、 f_m は第3表のように表わされる。

第1表，振動次数（ m ）と規準定数（ α_m ）

m	1	2	3	4
α_m	4.730	7.8532	10.9956	14.1372

第2表 回 転 半 径 R

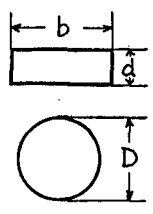
$R = \sqrt{\frac{I}{S}}$; 断面の中性面に関する回転半径

$I = \frac{1}{12} b d^3$ 矩形断面

$= \frac{1}{64} \pi D^4$ 円形断面

$S = b d$ 矩形断面

$= \frac{\pi}{4} D^2$ 円形断面



} 共振子断面積

第3表 共振周波数 f_m

(a) 矩形断面の時

$f_1 = 5.21 \times 10^5 \frac{d}{l^2} \text{ c/s}$
 $f_2 = 14.72 \times 10^5 \frac{d}{l^2} \text{ c/s}$

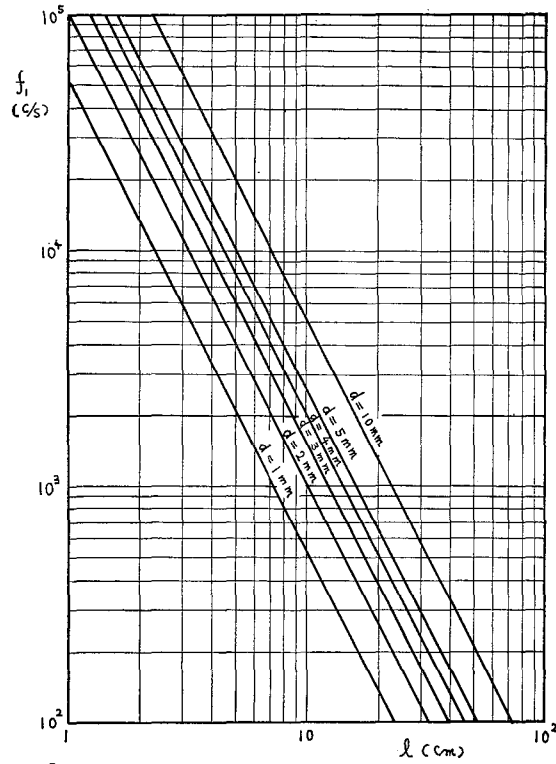
 $f_3 = 28.85 \times 10^5 \frac{d}{l^2} \text{ c/s}$

(b) 円形断面の時

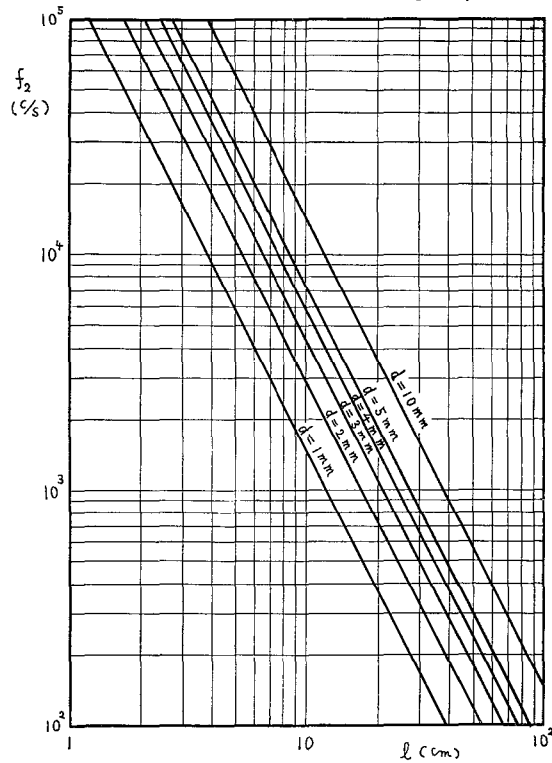
$f_1 = 4.62 \times 10^5 \frac{D}{l^2} \text{ c/s}$
 $f_2 = 12.73 \times 10^5 \frac{D}{l^2} \text{ c/s}$

 $f_3 = 24.95 \times 10^5 \frac{D}{l^2} \text{ c/s}$

第5図と第6図は共振子寸法と f_m の関係を図示したもので設計に役立つ。



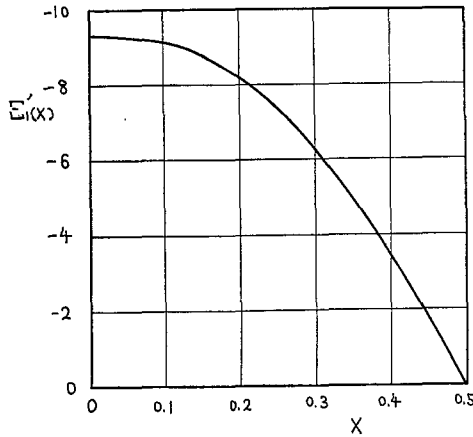
第5図 $f_1 - l$



第6図 $f_2 - l$

(b) m_m と $E_m(x)$, (等価質量と規準函数) ; 両端自由棒(共振子) の1自由端での等価質量 m_m は $m_m = M_r/E_m(x_1) = M_r/4$ で与えられるから, n_2 すなわち $E_m(x)$ の値が既知なら, 第4図の基本半区間回路の素子が決定される。第7図は $E'_m(x) - X$ 特性で第4表はその数値例である。

第4表 両端自由振動の
 $E_1(X), E_1'(X)$



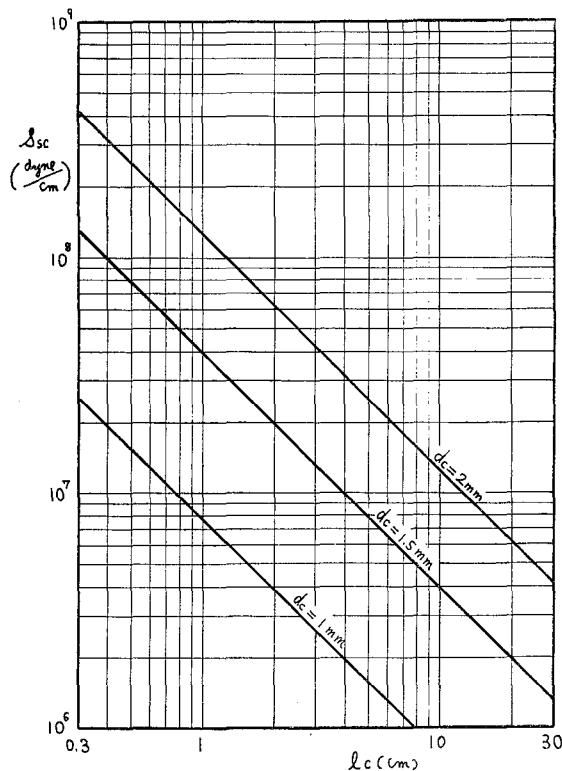
X	$E_1(X)$	$E_1'(X)$
0.00	2.000	-9.294
0.05	1.535	-9.275
0.10	1.074	-9.147
0.15	0.624	-8.828
0.20	0.195	-8.264
0.25	-0.200	-7.439
0.30	-0.544	-6.342
0.35	-0.833	-4.971
0.40	-1.039	-3.467
0.45	-1.172	-1.753
0.50	-1.216	0.000

第7図 $E_1'(x) - X$

(c) s_{sc} (結合スチフネス) ; 静的スチフネスは $G=0.8 \times 10^{12}(\text{dyne/cm}^2)$ とすると

$$s_{sc} = \frac{\pi}{32} G \frac{d_c^4}{l_c} = 7.85 \times 10^{10} \frac{d_c^4}{l_c} \quad (6)$$

となり, 第8図のように表わされる。



第8図 $s_{sc} - l_c$

(5) 設計例

第5表は設計公式を一括表示したもので、第6表は設計例である。また、共振子寸法を一定とし結合子寸法を変化すると第9図のような結果となる。以上、構成ならびに設計について述べたが、つぎに二三の試作結果について述べる。

第5表 設計公式

$$f_m = k_m \times 10^5 \times \frac{d}{l^2} \text{ c/s}$$

$$(k_1 = 5.21, \quad k_2 = 14.72)$$

$$M_r = \rho l S, \quad S = bd$$

$$m_m = \frac{M_r}{E_m^2(X)}, \quad s_m = \omega_m^2 m_m$$

$$s_c' = 2 s_{sc} \frac{1}{l^2} \frac{E_m'^2(X_c)}{E_m^2(X_1)}$$

$$B \div \frac{1}{2} \frac{s_c'}{s_m} = \frac{s_{sc}}{s_m} \frac{1}{l^2} \frac{E_m'^2(X_c)}{E_m^2(X_1)}$$

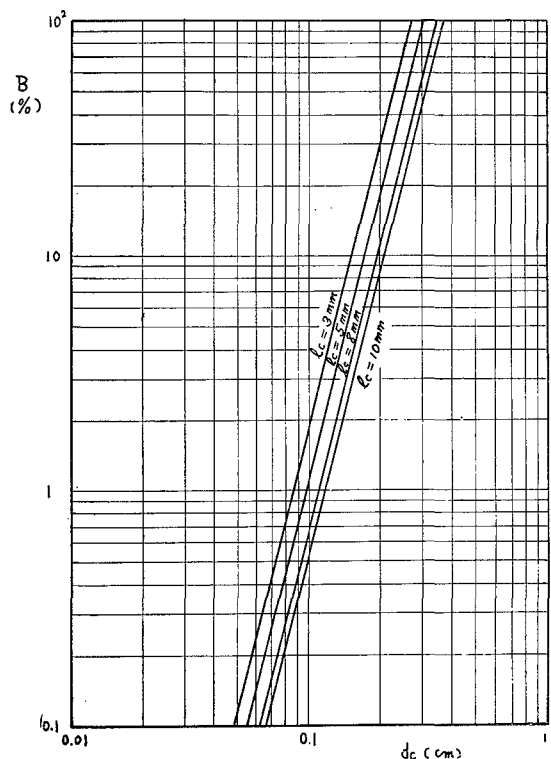
第6表 諸設計例

(a) 基本振動利用例

$f_1 \text{ kc}$	$l \text{ cm}$	$d \text{ cm}$	$b \text{ cm}$	m_1	$l_c \text{ cm}$	$d_c \text{ cm}$	$s_{sc}(\text{二本分})$	$B \%$
1	12.5	0.3	0.5	3.656	1	0.1	15.7×10^6	1.054
1	12.5	0.3	1.0	7.312	1	0.1	15.7×10^6	0.527
5	5.591	0.3	0.5	1.635	1	0.1	15.7×10^6	0.484
5	5.591	0.3	1.0	3.271	1	0.1	15.7×10^6	0.242
5	7.217	0.5	0.5	3.517	1	0.1	15.7×10^6	0.135
5	7.217	0.5	1.0	7.037	1	0.1	15.7×10^6	0.068
10	3.953	0.3	0.3	0.693	1	0.1	15.7×10^6	0.576
10	3.953	0.3	0.5	1.156	1	0.1	15.7×10^6	0.343
10	5.104	0.5	0.3	1.497	1	0.1	15.7×10^6	0.159
10	5.104	0.5	0.5	2.488	1	0.1	15.7×10^6	0.096
20	2.790	0.3	0.3	0.4897	1	0.1	15.7×10^6	0.407
20	3.609	0.5	0.3	1.056	1	0.1	15.7×10^6	0.113
20	3.609	0.5	0.5	1.759	1	0.1	15.7×10^6	0.068

(b) 第2次高次振動利用例

$f_2 \text{ kc}$	$l \text{ cm}$	$d \text{ cm}$	$b \text{ cm}$	m_2	$l_c \text{ cm}$	$d_c \text{ cm}$	s_{sc}	$B \%$
10	6.64	0.3	0.3	1.165	1	0.2	1.256×10^8	2.074
10	6.64	0.3	0.5	1.942	1	0.2	1.256×10^8	1.08
10	8.58	0.5	0.3	2.509	1	0.2	1.256×10^8	0.410
10	8.58	0.5	0.5	4.180	1	0.2	1.256×10^8	0.302
20	4.69	0.3	0.3	0.823	0.5	0.2	2.512×10^8	2.873
20	4.69	0.3	0.5	1.371	0.5	0.2	2.512×10^8	1.717
20	6.06	0.5	0.3	1.772	0.5	0.2	2.512×10^8	0.799
20	6.06	0.5	0.5	2.954	0.5	0.2	2.512×10^8	0.861



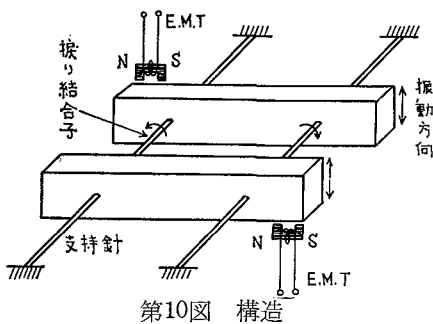
第9図 結合子の直径と比帯域

4 電磁的に駆動・ピックアップされる結合子形の機械濾波器

機械濾波器のトランスデュサとしては電磁的な方式と電歪（圧電）方式のものがあり*，前者は低い周波数（5 KC 以下）で有効でとくに諸種の基礎実験を行う場合便利である。

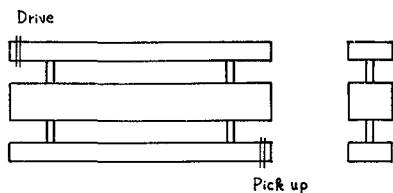
(1) 構造

第10図はその構造の一例で，支持は図示のように節点部から鋼針を引出しその一端を固定する（実験では工作上の容易さから結合子線を延長してそのまま支持として利用した）。



第10図 構造

実用に際してはコイルばね支持なども考えられよう。第11図は共振子3個の場合で，端部

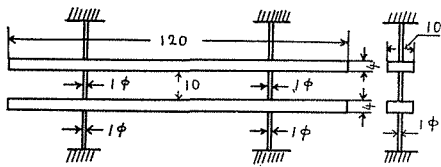


第11図 共振子3個の例

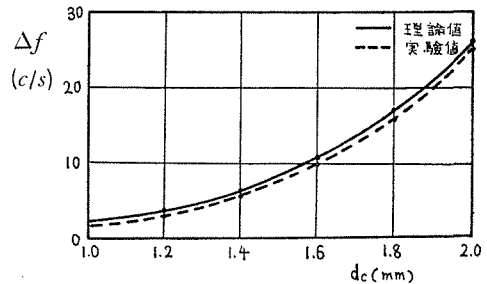
* この外にも磁歪方式のものも考えられるが，特別の構成と対策を必要とする。電歪方式については次節5参照。

以外の共振子の等価質量は両端部のその2倍に設計するいわゆる「近似設計法」*である。

共振子の固有周波数 f_m は、厚さ (d) と長さの2乗 (l^2) との比 d/l^2 で決まるから、同一 f_m 値を与える大小各種の共振子が設計できるわけであるが、基礎実験を目的としたため、試作品は第12図に示すような $f_{m=1} \Rightarrow 1KC$ の比較的大寸法のものとした。なお、小形化ならびに本濾波器使用の最適周波数範囲などについても今後考察を行う予定である。



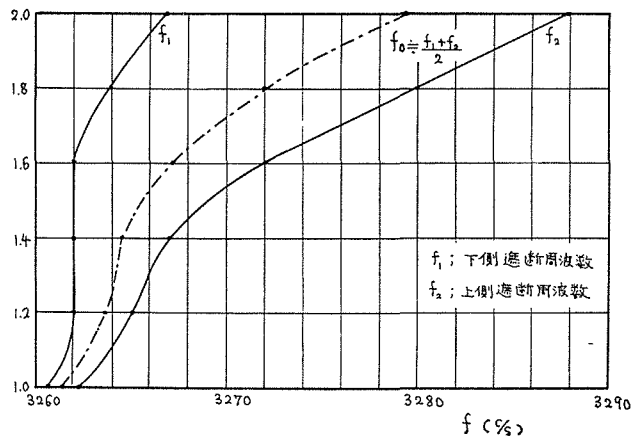
第12図 試作品寸法(単位：mm)



第13図 $\Delta f - d_c$ 特性

(2) 結合子と帯域巾

第13図は結合子の直径 d_c に対する帯域巾 Δf の理論値と測定値で比較的良好に一致している。ただし、中心周波数 f_0 は第10図、第12図のような支持構造では、結合子線の太さ (d_c) が増すと変化する。このような支持の影響については筆者の一人が別に「音片の



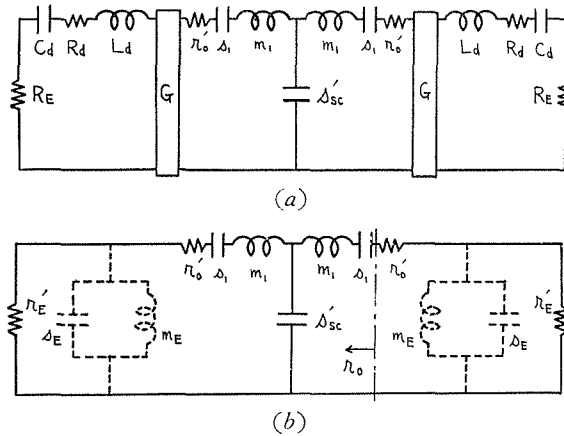
第14図 $f_0 - d_c$ 特性

支持」⁽⁴⁾について詳しく考究しているように、支持装置は共振子への付加インピーダンスとして作用する。すなわち、第14図の下側遮断周波数 f_1 の変化分が支持鋼針の太さの変化による見掛けのステフネスの増分に当たると一応考えてよい。

なお、実用に際しては、結合子の太さに無関係に、安定支持条件を満たす範囲で、できるだけ細い鋼針(あるいはコイルばね)支持とする方がよい。

* 送受両端の同調素子 $L_a \cdot C_a$ を中心周波数付近で無視する近似設計法。文献(3)参照

(3) 終端整合について



$$s_E = L_d/A^2, \quad m_E = C_d A^2$$

第15図 電磁形機械濾波器の等価回路

第15図は電磁形の機械濾波器の等価回路である。したがって、近似設計法では公称機械抵抗を r_0 とすると、

$$r_0 = r_0' + r_E' \\ = (r_1 + r_n) + \frac{A^2}{R_d + R_E}, \quad r_0' = r_1 + r_n, \quad r_E' = \frac{A^2}{R_d + R_E} \quad (7)$$

が終端整合の条件となるから、 $r_0 > r_0' + r_E'$ のときは共振子の等価機械抵抗 r_1 の増加、*electro-dynamic impedance* r_n の増加、力係数 A の増加、 $(R_d + R_E)$ の減少*などによる整合調整が考えられる。すなわち、(a) r_1 を増すには共振子自身の r_1 を大とする方法（材料の選定と振巾の増大）と外部から機械的な抵抗を付加する方法とが考えられる。(b) r_n 、 A の増加ならびに R_d の減少法としては、これら3定数の間の相互関係(8)式に注意して適当に設計する必要がある。

$$\begin{cases} r_n = \frac{B_0^2 P_0}{\omega \pi} \sin \beta, & A = 2 B_0 N P_0 e^{-j\beta}, \\ L_d = 4 \pi N^2 P_0 e^{-j\beta} \equiv L_d + R_d/j\omega, & R_d = 4 \pi \omega N^2 P_0 \sin \beta, \end{cases} \quad (8)$$

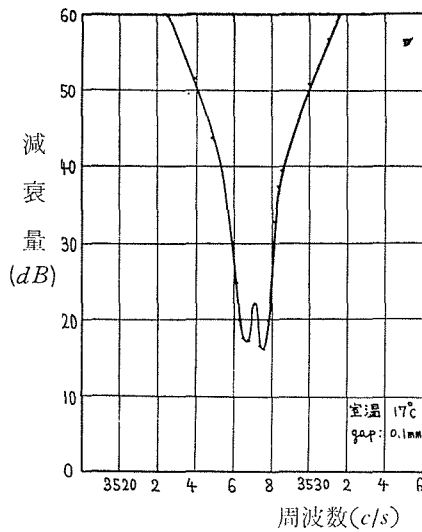
ただし、 B_0 ；直流磁束密度、 P_0 ；パーミアンス、 N ；コイル巻数、 β ；遅れ角とする。

要するに、 P_0 、 B_0 、 N を大とし、 β を小とすることが設計上の基本方針となるが、具体的には磁気回路や材料、平衡安定度などが問題となる。

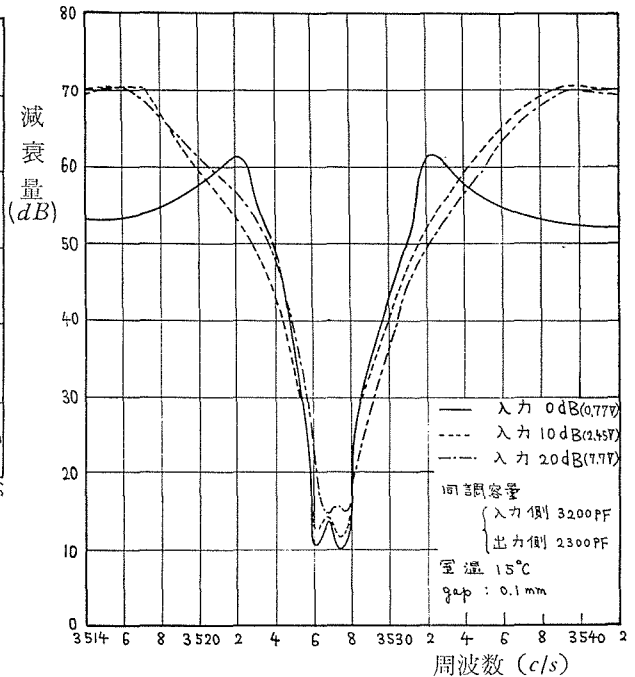
(4) 測定結果

第16図は同調容量を挿入しないではば r_0' だけで終端したときの出力特性で、通過域で 5dB 程度のリップル(不整合)がみとめられる。

* ダンプト電気抵抗 R_d が余り大きいと電気抵抗 R_E による整合不能。

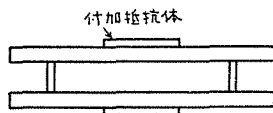


第16図 減衰特性



第17図 同調容量を挿入した場合の減衰特性

第17図は同調容量 C_a を挿入した場合の周波数特性で、入力レベルが増し振動振幅が大となると共振子の抵抗 r_1 が増しそのため通過域のリップルも平坦化していくことがみとめられる。



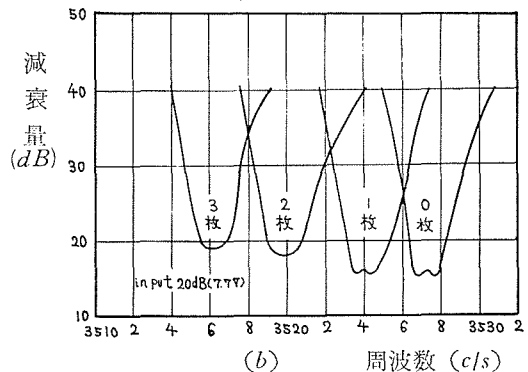
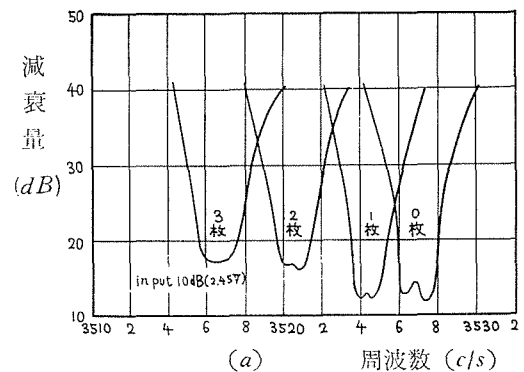
第18図 整合用付加抵抗体

つぎに第18図のように外部から機械抵抗体を付加した場合について述べる。

第19図 a , b は入力レベル10 dB, 20 dB の場合の一例で、抵抗付加による整合への接近状態が観察される。

なお、このような付加物体の共振子ループ部への接着は、別に報告した⁽⁴⁾ように、共振子へ誘導的(インダクティブ)に影響するから* 図示のよう

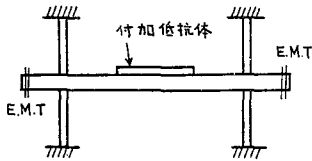
* 一般的にはインピーダンス負荷として作用する。



第19図 付加抵抗体による整合状況

に f_0 が減少する。本実験では間に合わせ的に付加抵抗体としてビニール・テープ（長さ18.5mm, 巾 10mm, 厚さ0.17mm）を使用し、第18図に示めたように 1, 2, 3 枚と重ねて接着した。勿論、実用に際しては安定な抵抗体の恒久接着を行うべきで、接着場所も問題となる。

(5) 終端機械抵抗の設計



第20図 r_M の決定

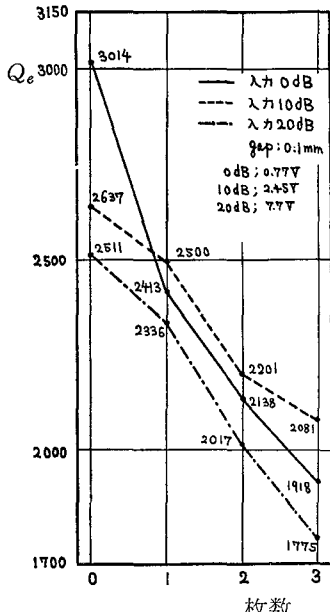
付加抵抗体の等価機械抵抗 r_M および等価質量 m_M は、共振子を第20図のような単独共振子（いわゆる音片）として動作させ、その実効共振尖鋭度 Q_e を測定することによって定量的に決定される。すなわち、

$$\begin{cases} Q_e = \frac{\omega_{1e}(m_1 + m_M)}{r_0' + r_M}, \\ Q_1 = \frac{\omega_1 m_1}{r_0'}, \quad m_1 = \frac{M_r}{4}, \end{cases} \quad (9)$$

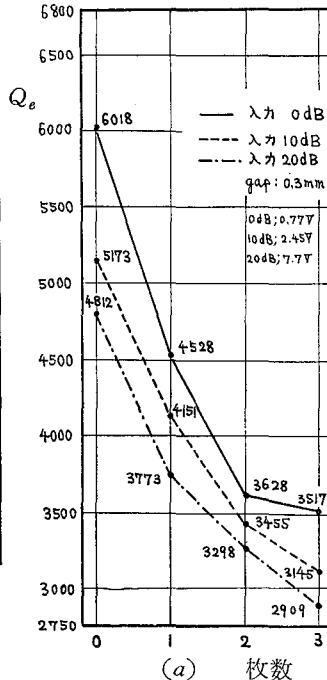
$$\omega_{1e} \doteq \sqrt{\frac{s_1}{m_1 + m_M}}, \quad \omega_1 = \sqrt{\frac{s_1}{m_1}}, \quad (10)$$

ここに、 Q_e , Q_1 , ω_1 , ω_{1e} および M_r は測定により知ることができるから、(9) 式から r_M が定量的に決定される。したがって、設計資料として予めこのようなデータを準備しておけば、所望の r_M を逆に付加することもできる。

第21図は第19図 a, b の終端付加抵抗値を定量的に決定するために測定した Q_e で、これから必要な r_M が算出される。第22図 a, b は同じく空隙長を 0.2, 0.3mm と変化したときの Q_e 値である。

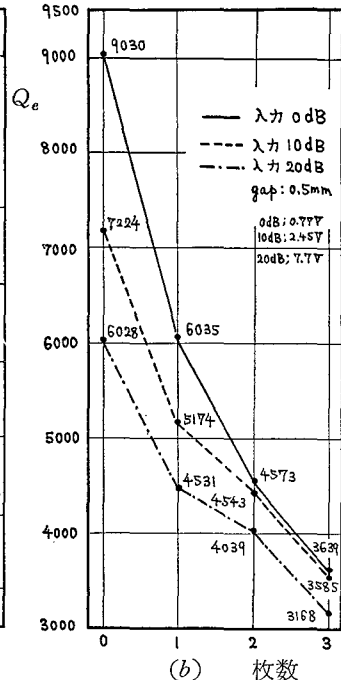


第21図 実効共振尖鋭度 Q_e



(a) 枚数

第22図 実効共振尖鋭度 Q_e

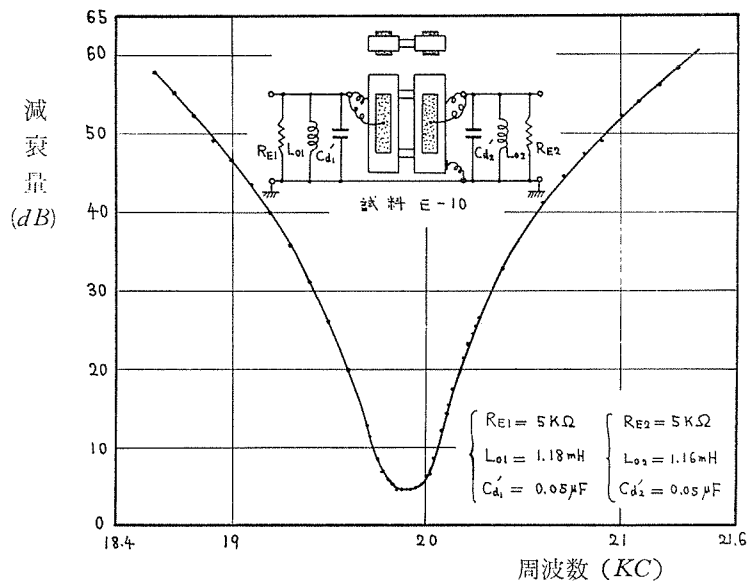


(b) 枚数

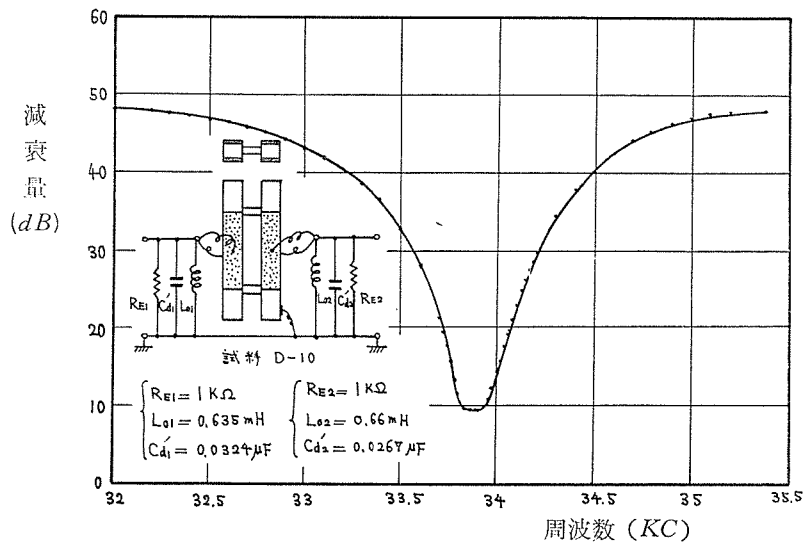
5 電歪駆動方式の振り結合子形機械濾波器

5～10KC 以上では電磁トランスデュサの変換能率が悪いのでチタン酸バリウム磁器を接着した横振動共振子トランスデュサ* を利用した方が有利である。鈴木ら⁽⁵⁾はさきにM型部分電極圧電振動子について高次振動抑圧形の部分電極配置を提案しているが、その原理はこの種の機械濾波器の共振子にも適用できる。

さて、電歪(圧電)形の機械濾波器の設計についてはすでに報告⁽³⁾ してあるので、ここでは試作測定結果だけを示すが、すべて「近似設計法」によっている。



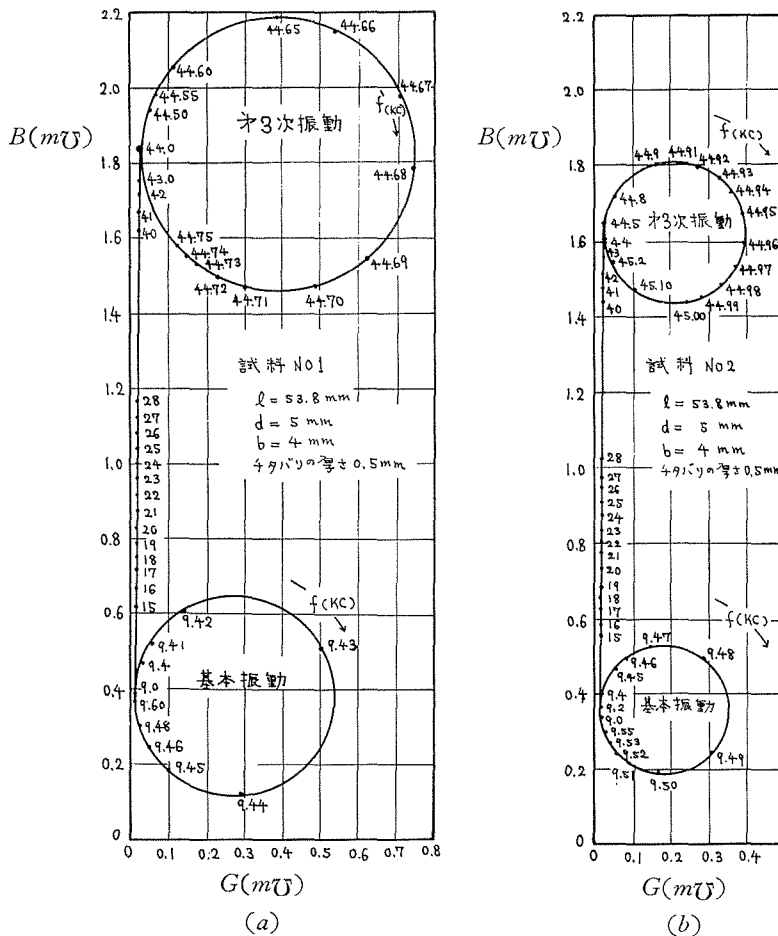
第23図 (a)、電歪駆動方式の振り結合子形機械濾波器の減衰特性



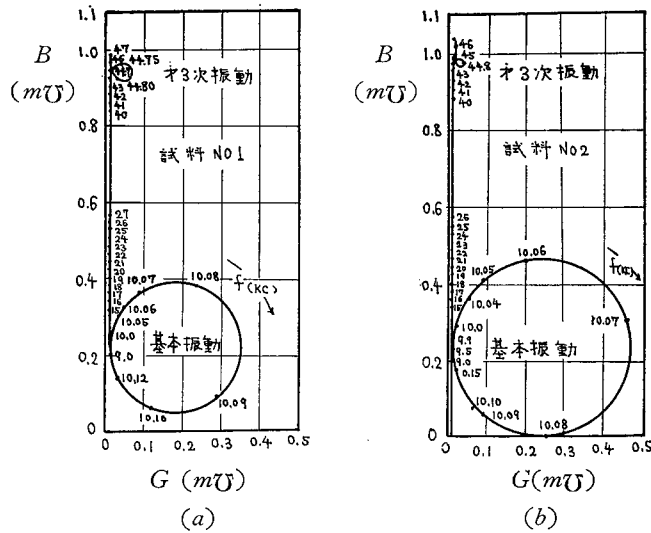
第23図(b)、電歪駆動方式の振り結合子形機械濾波器の減衰特性

* これは「チタバリトランスデュサ」と略称されている。

第23図 a, b はその代表的な一例で、この種の機械濾波器は第2次振動を励起せず、また第3次振動抑圧形のためスプリアスもほとんどなく、簡単な構成で比較的良好な特性が得られた。勿論、共振子をもっと小形にすれば広帯域化が可能で、この種の実用化が期待される。試作品はいずれも共振子2個の場合について行われたが、今後さらに多共振子の場合についても試作測定を行う計画である。



第24図 チタバリ音片振動子の自由アドミタンス軌跡(全面電極)



第25図 チタバリ音片振動子の自由アドミタンス軌跡(部分電極)

なお、共振子への部分チタバリ接着による第3次高次振動抑圧の効果は第24図 *a, b* と第25図 *a, b* とを比較すれば明らかであろう。第7表と第8表は全面チタバリ、部分チタバリの各トランスデューサ共振子の諸定数値の一例である。

第7表 チタバリ音片振動子の諸定数(基本振動)

試料	$f_o(kc)$	Q	$C_a(\mu F)$	$R_o(k\Omega)$	$C_o(pF)$	$L_o(H)$	$M_o(gr)$	
全面電極	No. 1	9.433	628	0.0064	1.92	14.0	20.4	9.55
	No. 2	9.485	365	0.00575	3.03	15.1	18.7	9.65
部分電極	No. 1	10.085	530	0.00347	2.94	10.13	24.6	9.4
	No. 2	10.072	560	0.00364	2.13	13.2	18.9	9.4

試料	$A \times 10^6 \frac{dyne}{Volt}$	$r = \sqrt{\frac{C_o}{C_a}}$	$B_{L_o}(\%)$	$B(\%)$	
全面電極	No. 1	6.61	0.0468	6.62	0.219
	No. 2	6.36	0.0513	7.25	0.263
部分電極	No. 1	7.22	0.0541	7.65	0.293
	No. 2	6.34	0.0602	8.50	0.362

注 C_a ; 制動容量, A ; 力係数
 R_o ; 等価抵抗, M_o ; 振動子の全質量
 C_o ; 等価容量, B_{L_o} ; C_o に並列に L_o を挿入したときの最大帯域幅
 L_o ; 等価インダクタンス, B ; L_o を挿入しないときの最大帯域幅

第8表 チタバリ音片振動子の諸定数（第三次振動）

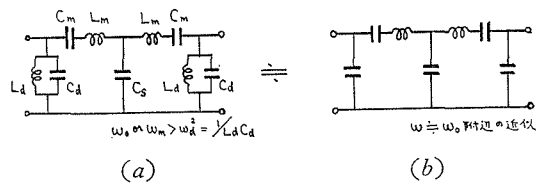
試料	f_o (kc)	Q	C_a (μF)	R_o ($k\Omega$)	C_o (pF)	L_o (H)	M_o (gr)
全面電極	No. 1	44.678	812	0.00648	1.39	3.16	4.02
	No. 2	44.957	417	0.00573	2.78	3.05	4.11
試料	$A \times 10^6 \frac{\text{dyne}}{\text{Volt}}$	$r = \sqrt{\frac{C_o}{C_a}}$	BL_o (%)	B (%)			
全面電極	No. 1	2.94	0.0221	3.12	0.0488		
	No. 2	2.98	0.0231	3.26	0.0532		

6 新しい機械濾波器の二三

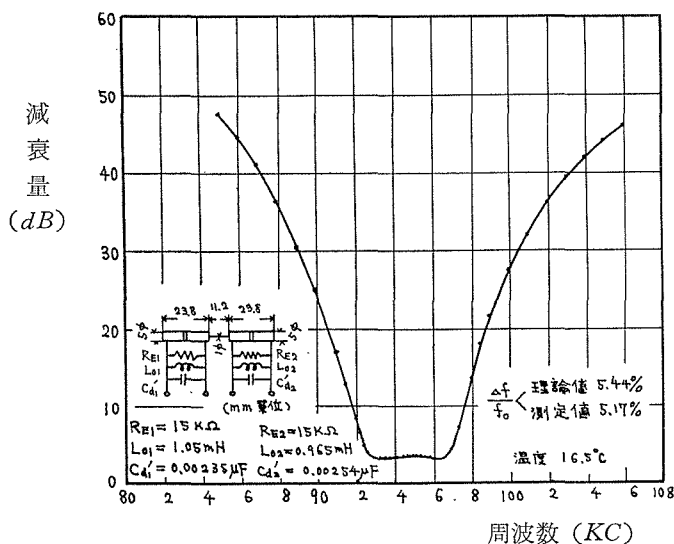
振り結合子形の機械濾波器とは異なるが、つぎに二三の新しい構成例とその試作結果をごく簡単に記し参考供する。

(1) 等価容量設計法(仮称)

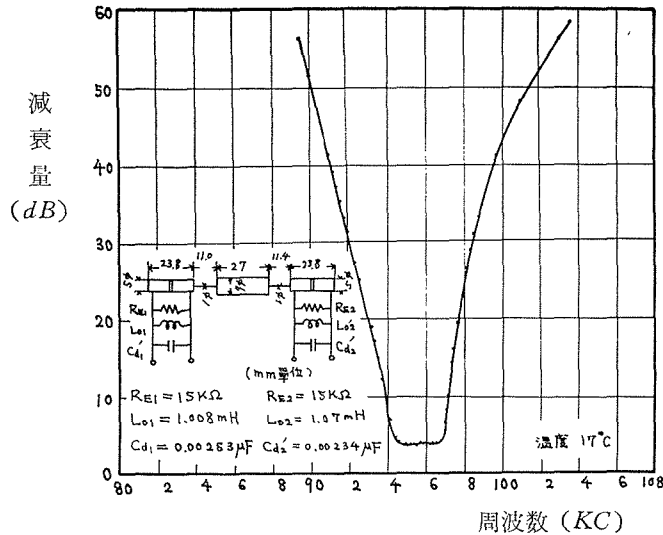
これは第26図 *a* に示すように送受両端の電気素子 (L_d, C_d) の反共振周波数 f_a を中心周波数 f_o より低く選び、これらインピーダンスが f_o 附近で容量性となり近似的に同図 *b* に示すような3素子濾波器構成とみなされるように設計するものである。



第26図 等価容量設計法



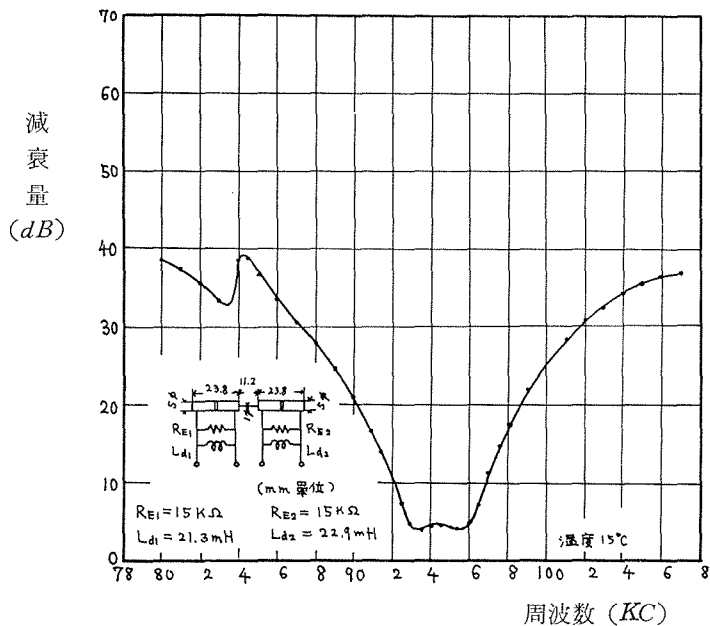
第27図(a), 縦振動形機械濾波器の減衰特性



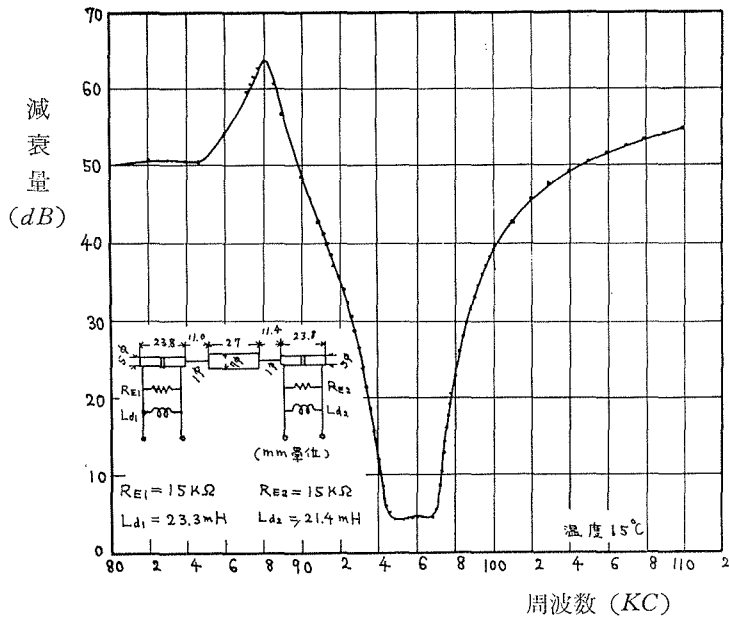
第27図(b), 縦振動形機械濾波器の減衰特性

第27図 a, b はこれまでしばしば発表して来たいわゆる「近似設計法」による *Langevin* 振動子を共振子とする縦振動系の機械濾波器の減衰特性であるが、その送受端の電気素子 (L_d, C_d) を上記のように適当に変えて「等価容量設計」とするとそれぞれ第28図 a, b のような特性となる。同図でスプリアス部分が送受端電気素子の反同調点に当たる。

なお、この設計法については今後検討の余地がある。



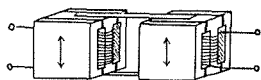
第28図 (a), 縦振動形機械濾波器の減衰特性(等価容量設計)



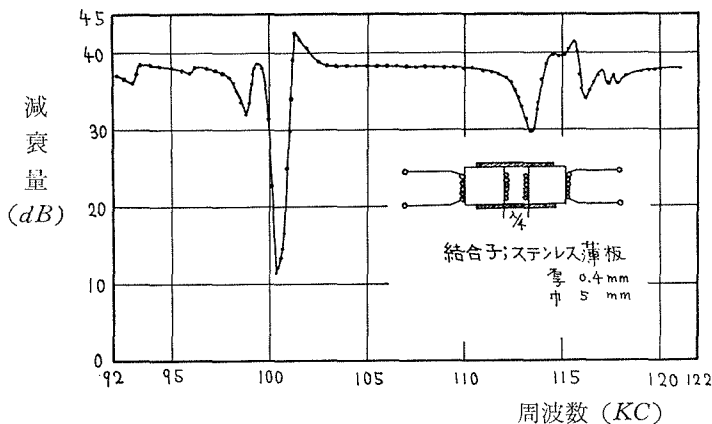
第28図(b), 縦振動形機械濾波器の減衰特性(等価容量設計)

(2) 極狭帯域形の機械濾波器

R・C・A で開発された極狭帯域形の機械濾波器は4分の1波長素子を3段利用するジャイレータ方式で寸法が長くなる。この欠点を除去するため第29図に示すような横振動共振子形の機械濾波器を構成し、その共振子として最近市販されている漁採用のフェライト・コアを使用した。第30

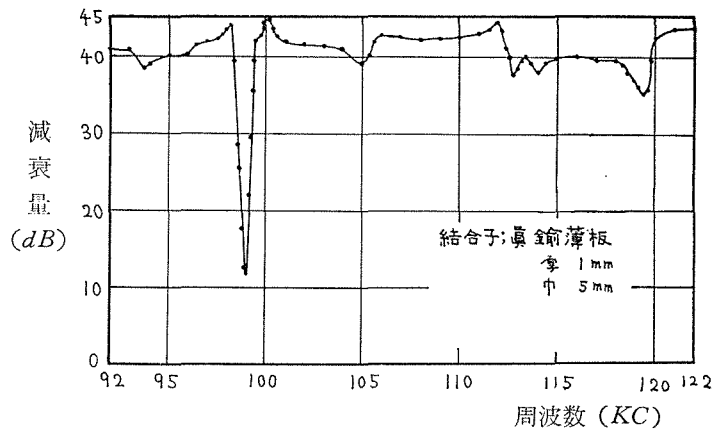


第29図 狭帯域磁歪形
フィルタ



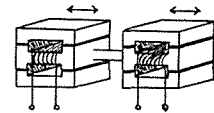
第30図(a), 狭帯域磁歪フィルタの減衰特性

日下部・近野：50KC以下の搬送周波数における電気・機械濾波器

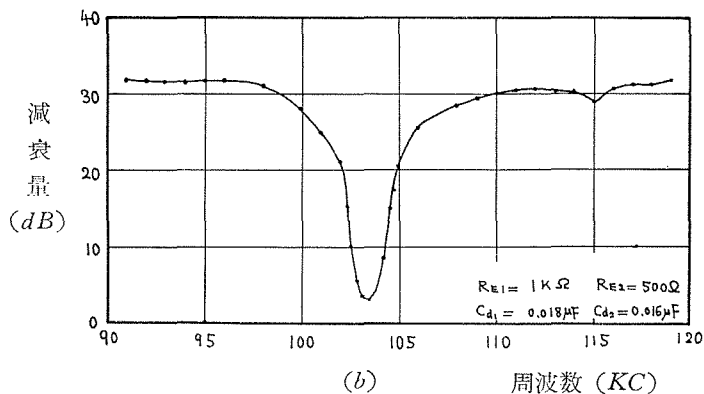
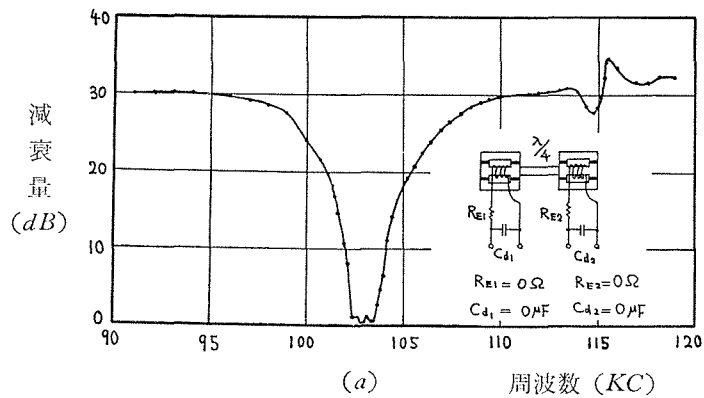


第30図(b), 狭帯域磁歪フィルタの減衰特性

また、これらは第31図のような縦振動結合子形構成とすると第32図 *a, b* に示すような特性となるが、試作品によっては結合子の横振動によるスプリアスが認められる場合もあった。

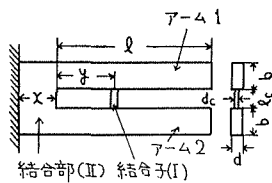


第31図 縦振動結合子形磁歪フィルタ



第32図 縦振動結合子形磁歪フィルタの減衰特性

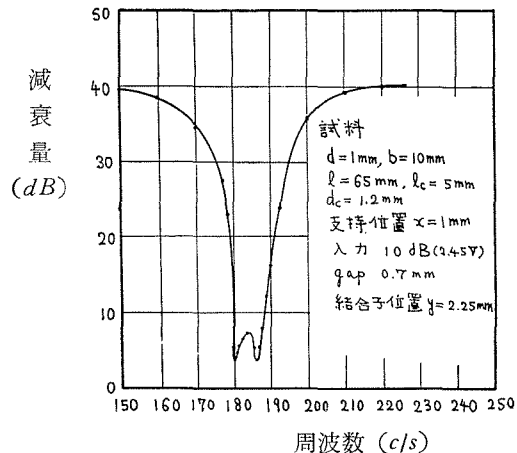
(3) 低可聴周波数範囲における機械濾波器



第33図 コ字形振動子

第34図は電磁的に駆動・ピックアップしたときの周波数特性で終端整合することにより通過域を平坦にすることもできる。これはフィルタとしての外にセレクトとしての応用も考えられその将来性が期待される。

第33図に示すような構成のもとに、アーム1と2を紙面に垂直な方向に振動させると、結合部(I)および結合部(II)は両アーム共振子の振動を連成結合させる。



第34図 コ字形振動子の周波数特性

7 むすび

以上、振り結合子形の機械濾波器について設計ならびに二三の試作結果を示めし、とくに電歪方式の高次振動抑圧形が充分実用に供せられ、スプリアスも少く構成も簡単で将来性のあることを明らかにした。現在この種の機械濾波器の実用化の研究を日立製作所・戸塚工場の研究部と協同して行っているが、ここにその大要を報告した。

また、本章末に記した新しい構成の二三の試みも今後この方面の開発研究に役立つところがあれば幸いである。

本研究に関しては卒業研究の学生、大津弘一君、馬場康昌君、ならびに外田念雄氏、青木伴至君その他の御協力御援助を得た。最後に終始御懇篤な御指導を賜っている東北大永井健三教授に深謝する。

(昭和36年8月31日受理)

文 献

- (1) 近野；機械濾波器に関する一考察，通信学会回路網委員会（昭31-9）；通信学会誌40-1（昭32-1）44.
- (2) W. P. Mason and R. N. Thurston；A Compact Electromechanical Band-Pass Filter for Frequencies Below 20KC, I・R・E Transaction (Ultrasonics Engi.) Vol. UE-7, June (1960) No. 2, p 59.
- (3) 近野；エレクトロ・メカニカル・フィルタ，共立出版社（昭34-5）.
- (4) 近野；音片振動子の支持と設計，音響学会誌，12-2（昭31-6）75.
- (5) 抜山，鈴木；M型圧電振動子の振動姿態と電気音響定数，231，（昭17-6）.
- (6) 近野，大津，青木，中村；振り結合子形の横振動共振子機械濾波器，電気4学会連合大会（昭36-4），No. 1040.
- (7) 近野，日下部；コ字形振動子の応用について，音響学会講演会，1-1-23（昭36-5）.

Electromechanical Filter for Carrier Frequencies Below 50 Kilocycles

Chiharu KUSAKABE and Masashi KONNO

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering

With the improvement of communication facilities, an electromechanical filter is useful for the multiple communication and the prevention of channel interference.

At present time, the centered frequency range of these filters which is from 50KC to 500KC is used.

But, of late, we require an electromechanical filter for frequencies below 50KC or above 500KC.

In this paper, the design method and the experimental results of an electromechanical filter for frequencies below 50KC are described.

These results obtained here show that the electromechanical filter is practically used as electrical wave filters.

The filter used here is the electromechanical one which uses dominant mode and which consists of two couplers and two resonators. The resonators are flexurally vibration metal bars which are coupled at their nodal point with torsionally vibrating bars.

An electromechanical filter is equipped with a pair of electromechanical transducers for exciting and detecting the vibrations.

The electromechanical transducers used here are two kinds of types of the electromagnetic transducers and of the piezo-electric ones.

The piezo-electric transducer consists of two pieces of piezo-electric material with a metal sheet sandwiched between them and the piezo-electric material is a barium titanate ceramic.

The electromagnetic transducer is useful for mechanical filter for frequencies below 5 KC, while the piezo-electric transducer is available for mechanical filter with frequency range between 10KC and 50KC, and the latter one has a simple construction and low spurious, because of the piezo-electric transducer of partial electrode suppressing the higher mode vibration.

In the last chapter, a few examples of new construction of electromechanical filter and a test of its filter are described.